



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LÄMPÖTEKNISEN RUNKOTOLPAN KEHITYSTYÖ

TEKIJÄ: Aappo Lind

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Aappo Lind	
Työn nimi Lämpöteknisen runkotolpan kehitystyö	
Päiväys 21.4.2015	Sivumäärä/Liitteet 34/15
Ohjaaja(t) Harry Dunkel, lehtori; Viljo Kuusela, lehtori	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Sepa Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia puisen runkotolpan läpi kulkevan kylmäsilan katkaisemista liimaamalla kaista xps-eristettä runkotolpan sisäpintaan sekä eristekaistan toiselle puolelle pystyyn koolauspuu. Opinnäytetyö tehtiin Sepa Oy:n toimeksiantona.</p> <p>Rakenteen toimivuutta on opinnäytetyössä tutkittu testaamalla kokonaisuuden rakenteellista kestävyyttä laboratoriotestein sekä arvioimalla rakenteen markkinoitavuutta tutkimalla rakenteelle tulevia kustannuksia. Rakennelaskelmilla on selvitetty dimensioiltaan normaalia pienemmän runkotolpan rakenteellinen kestävyys.</p> <p>Tuloksena saatiin tietoa erilaisten xps-eristeiden ja liimojen soveltuvuudesta rakenteeseen. Rakenteen lujuustestauksen tuloksia ja rakennelaskelmia vertaamalla saatiin selville rakenteen soveltuvuus käyttötarkoitukseensa. Lisäksi materiaalikustannusten ja arvioitujen tuotantokustannusten avulla saatiin tuotteelle hinta ja pystytään arvioimaan tuotteen kysyntää markkinoilla.</p>	
Avainsanat xps-eriste, runkotolppa, rakennelaskelmat	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Aappo Lind			
Title of Thesis Development of a Thermal Insulated Timber Column			
Date	21 April 2015	Pages/Appendices	34/15
Supervisor(s) Mr. Harry Dunkel, Senior Lecturer; Mr. Viljo Kuusela, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners Sepa Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final year project was to examine cutting the cold bridge going through a timber column in external wall in a timber frame detached house. This was done by gluing a strip of xps-insulation in the inner side of timber column and gluing another piece of timber to the other side of the xps-insulation. The project was commissioned by Sepa Oy.</p> <p>The functionality of the structure was examined by testing the structural strength of the structure with laboratory tests. The marketing value of the product was estimated by calculating the material and production costs. The structural strength of a timber column, which is smaller by its dimensions than usual, was studied by structure calculations.</p> <p>As a result of this project the suitability of various xps-insulations and adhesives in the structure was found out. The suitability of the structure for its desired use was found out by comparing the results of the strength tests and structure calculations. In addition, the price of the product was calculated with material costs and estimated production costs and the demand for the product can be estimated this way.</p>			
Keywords xps-insulation, timber frame column, structure calculations			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	RUNKOTOLPPA.....	6
2.1	Yleistä.....	6
2.2	Historia	6
2.3	Lämpötekkinen runkotolppa	7
3	KOEKAPPALEET RAKENTEESTA.....	8
3.1	Koekappaleiden rakentaminen	8
3.2	Käytetyt materiaalit.....	10
4	KOEKAPPALEIDEN TESTAAMINEN.....	11
4.1	Testausmenetelmät EN 1607 ja EN 12090	11
4.1.1	EN 1607 Lämmöneristetuotteet rakentamiskäyttöön. Vetolujuuden määrittäminen kohtisuoraan pintoja vastaan. 1997-02-10.	11
4.1.2	EN 12090 Lämmöneristetuotteet rakentamiskäyttöön. Leikkauslujuusominaisuuksien määrittäminen. 1997-09-22.	12
4.2	Testilaite TIRAtest 28100	13
5	TULOKSET	14
6	KUSTANNUKSET	15
7	RAKENNELASKELMAT	16
7.1	Runkotolpan rakenteellinen kestävyys	16
7.2	Rakenteen eristekaistan kestävyys	16
7.3	Liittyminen muihin rakenneosiin.....	16
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	17
	LÄHTEET	18
	LIITE 1 RAKENNELASKELMAT	20
	LIITE 2 DETALJIT	31
	LIITE 3 KOESTUSTULOKSET	34

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö pohjautuu Sepa oy:n tekemään alustavaan tutkimustyöhön, jonka tarkoituksena on ollut saada puisen runkotolpan U-arvo pienemmäksi. U-arvon pienentämisellä pyritään siihen, että puurunkoisista rakennuksista saataisiin energiatehokkaampia. Puurunkoisten rakennusten lämpökuvausista käy ilmi runkotolppien kohdalla näkyvät siniset alueet, jotka osoittavat kylmän kulkeutumisen runkotolpan läpi. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan miten toimisi rakennekokonaisuus, jossa runkotolpan kohdalle, sen sisäpintaan liimataan kaista eristettä ja eristeen toiselle puolelle vastaavasti pystyy sisäkoolauspuu. Opinnäytetyössä tutkitaan liimauksen pitävyyttä testimenetelmillä sekä rakenteen hyödynnettävyyttä Sepa Oy:n markkinoimana tuotteena. Opinnäytetyö tehdään luottamuksellisesti vain Sepa Oy:n käyttöön.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia puurunkotolpan läpi kulkevan kylmäsilan katkaisemista liimamalla kaista xps-eristettä runkotolppaan. Työssä tutkitaan rakenteellista kokonaisuutta, johon kuuluu runkotolpan ja eristekaistan lisäksi sisäkoolauspuu. Opinnäytetyössä oleellisena tavoitteena on selvittää koekappaleiden rakentamisen ja testaamisen avulla rakenteen soveltuvuutta käyttökohteeseen. Opinnäytetyön tavoitteet tähtäävät siihen, että Sepa Oy:lle saadaan luotua kaupallinen tuote kattoristikoiden rinnalle. Tuotteen pääkohderyhmänä ovat talotehtaat ja omakotiorakentaminen.

Sepa Oy on vuonna 1982 perustettu suomalainen perheyrius, joka on kasvanut Suomen merkittävimmäksi ja nykyaikaisimmaksi kattoristikoiden valmistajaksi. Euroopan tasollakin Sepa Oy on yksi alansa suurimmista. Yrityksen tehtaat sijaitsevat Keiteleellä ja Porvoossa. Kattoristikoiden lisäksi Sepa Oy valmistaa puubetoniliittolaattoja, siltamuotteja, runkokehiä, kevytlaattoja sekä palo- ja pihattoristikoita. Asiakaskuntaan kuuluvat Suomen suurimmat talotehtaat, rakennus- ja tukkuliikkeet. Suuri kapasiteetti ja tehtaiden sijainti eri puolella Suomea takaavat nopeat ja edulliset toimitukset ympäri maata. (sepa.fi.)

Toiminnassaan Sepa Oy panostaa tuotteiden ja palvelujen korkeaan laatuun. Laadukkaan toiminnan takaavat osaava ja motivoitunut henkilökunta sekä oma suunnitteluosasto ja nykyaikaisimmat tuotantovälineet. Sepa Oy on Suomen ainoa kattoristikkovalmistaja, jolle on myönnetty kansainväliset sertifikaatit. Yritys kiinnittää paljon huomiota myös ympäristöpolitiikkaansa ja kehittää sitä jatkuvasti. Toimintaperiaatteisiin kuuluu tiivis yhteistyö alan tutkimus- ja oppilaitosten kanssa. Jatkuva investointi alan tutkimukseen ja kehitykseen lisäävät osaltaan yrityksen innovatiivisuutta. (sepa.fi.)

2 RUNKOTOLPPA

2.1 Yleistä

Runkotolppa on puurunkoisen rakennuksen osa, joka sijaitsee yleensä ulkoseinässä. Runkotolppa toimii ulkoseinän ja samalla rakennuksen rungon osana. Runkotolpan tehtävänä on johtaa yläpohjasta ja kattorakenteista tulevat kuormat perustuksille ja siitä edelleen perusmaahan. Lisäksi sen kautta siirtyvät sisä- ja ulkoeristysten kuormat. Rakenteista tulevien kuormien lisäksi runkotolppa siirtää lumi- ja tuulikuormat sekä mahdolliset muut hyötykuormat perusmaahan. Tuulikuormat ulkoseinässä ottaa yleensä vastaan runkotolpan molemminpuolinen levytys, ulkopuolella tavallisesti tuulensuojalevy ja sisäpuolella kipsilevy. Kuormien siirtämisen lisäksi runkotolppa toimii kiinnitysalustana seinän lämmöneristeelle.

Runkotolpassa, sekä muissakin puurakennuksen kantavissa osissa, käytetään lujuuslajiteltua sahatavaraa. Sahatavaran yleisimmät lujuusluokat Suomessa ovat C18, C24, C30, C35 ja C40. Lujuusluokat C14 - C30 voidaan lajitella ulkonäön perusteella, mutta lujuusluokat C35 ja C40 lajitellaan vain ko-neellisesti. (puuinfo.fi.)

2.2 Historia

Runkotolppien käyttö suomalaisessa puurakentamisessa yleistyi 1930-luvulla. Siihen asti puurakennusten runko oli tehty hirrestä. Sotien jälkeisellä 1940-1950 -lukujen jälleenrakennuskaudella tyypilliseksi pientaloksi muodostui ns. rintamamiestalo, jonka myötä sahatavarasta naulaamalla tehty runkotyyppi yleistyi nopeasti maassamme. Uudenlainen runkorakentaminen mahdollisti eristeiden käytön ulkoseinässä ja näin energiatehokkaamman ulkoseinärakenteen. Eristeinä käytettiin lähinnä kutterilastua ja sahanpurua. Tuulensuojana ja tiivisteinä käytettiin pinkopahvia ja tervapaperia. (Lukander 2010)

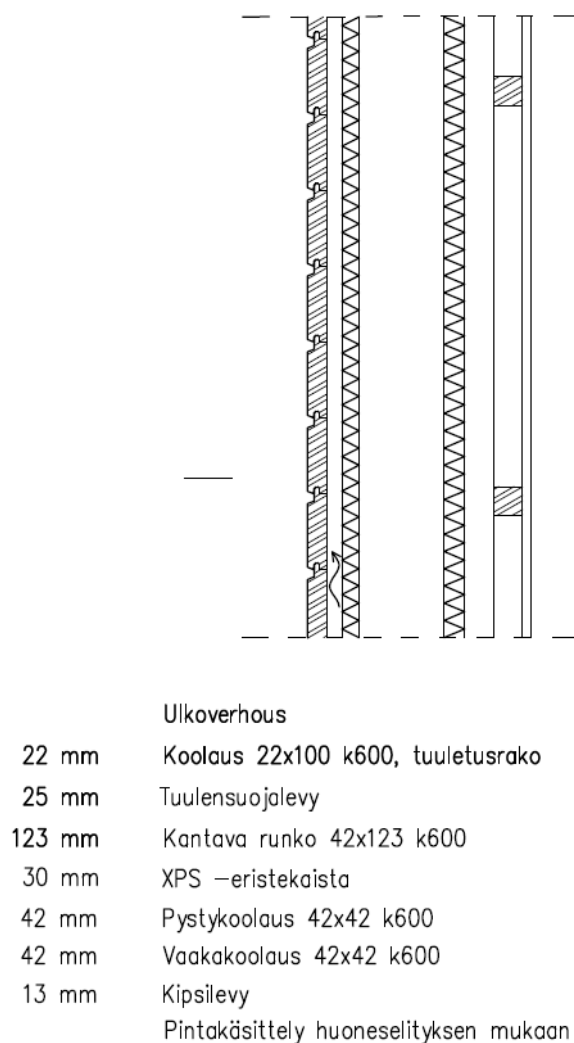
Myöhemmin kutteri- ja sahanpurueristeiden tilalle tulivat mineraalivillaeristeet. Eristeen paksuus seinissä säilyi aluksi samana kuin aiemmin eli noin 100 mm:nä. 1960-luvulla lastulevyn vakioleveyden myötä puurakennusten runkojaoksi muodostui 600 mm. Energiakriisistä johtuen eristepaksuudet seinissä kasvoivat 50 mm:n lisäkoolauksilla 1970-luvun puolivälissä. (Lukander 2010)

Nykyisten lämmöneristysvaatimusten myötä ulkoseinien eristepaksuudet ovat kasvaneet entisestään. Runkotolpan syvyys on yleensä 148 - 200 mm ja leveys noin 50 mm. Runkotolpan lisänä seinärakenteessa on koolaus tai ristiinkoolaus seinän sisäpuolella. Runkotolppana voidaan nykyisin sahatavaran sijasta käyttää myös liima- ja kertopuuta esimerkiksi näkyville jäävissä rakenteissa. (suomirakentaa.fi.)

2.3 Lämpötekkinen runkotolppa

Opinnäytetyössä tutkittu rakenne eroaa normaalista runkotolpasta siten, että itse runkotolpan lisäksi siihen kuuluu eristekaista ja koolauspuu (kuva 1). Rakenne on suunniteltu koottavaksi liimaamalla. Rakenteen kokoaminen mekaanisilla kiinnittimillä, kuten ruuveilla tai nautoilla ei tule kysymykseen, koska ne toimivat kylmäsiltoina rakenteessa. Rakenteen perusajatuksena on kuitenkin kylmäsiltojen katkaisu ja rakenteen kokoaminen mekaanisilla kiinnikkeillä toteuttaisi perusajatuksen vain osittain.

Mekaanisen kiinnityksen puuttuminen siirtää osittain vastuun kuormituksen vastaanottamisesta liimaukselle ja eristekaistalle. Toisaalta eristeen ja liimauksen ei voida ajatella kestävän normaalille runkotolpalle tulevia kuormituksia. Tästä syystä rakenne voi ottaa vastaan kuormia siten, että rakenteen runkotolppa ottaa vastaan sille normaalistikin tulevat tulevat ominais- ja hyötykuormat, lukuunottamatta seinän sisäpuolen koolauksia ja pintarakenteita. Rakenteen eristekaista ja koolauspuu ottavat kuormituksista vastaan sisäpuolen vaakakoolauksen, pintarakenteet ja seinälle kiinnitetyt kalusteet ja esineet.



Kuva 1. Lämpötekkinen runkotolppa ulkoseinässä (Lind 2015-04-20)

3 KOEKAPPALEET RAKENTEESTA

3.1 Koekappaleiden rakentaminen

Opinnäytetyössä tutkittiin rakenteen toimivuutta testimenetelmin. Tätä varten rakenteesta tehtiin koekappaleita erilaisilla liiman ja eristeen yhdistelmillä. Koekappaleet rakennettiin Savonian puulaboratorion tiloissa. Osa koekappaleista tehtiin Sepa Oy:n aiemmin rakentamista varsinaisen rakenteen mallikappaleista. Puutavara oli valmiiksi katkottu metrin mittaisiin paloihin, joihin liimattiin muut materiaalit käyttäen tavallista maalaustelaa (kuva 2) sekä käsikäyttöistä liimanlevitintä.

Ennen liiman levittämistä puutavaraan puutavara taarattiin vaa'alla, jonka jälkeen saimme tietää liiman levityksen jälkeen punnitsemalla puukappaleet oliko liimaa tullut riittävästi. Tämän jälkeen liimapintaan asetettiin valmiiksi sirkkelillä oikeanleveysiksi sahatut eristekaistat ja koekappaleet jälleen taarattiin vaa'alla. Taarauksen jälkeen levitettiin eristeen päälle liima ja punnittiin koekappaleet varmistuaksemme riittävästä liimamäärästä. Tämän jälkeen asetettiin liimauksen päälle toiset puukappaleet ja koekappaleet laitettiin puristukseen.



Kuva 2. Maalaustela oli kätevä liimanlevitysväline (Lind 2015-03-18)

Liimattujen koekappaleiden puristuksessa käytettiin Orma-puristinta sekä suurempaa pidemmän tavaran puristukseen tarkoitettua laitetta (kuva 3). Molemmat puristimet olivat hydraulisia. Puristusajat vaihtelivat parista tunnista useisiin tunteihin riippuen liiman vaatimasta puristusajasta. Puristettaessa osassa koekappaleista eristekaista painui kasaan korkeimmillaan noin 5 mm verran. Orma-puristinta käytettäessä osassa koekappaleista puristus sai aikaan eristeiden liukumisen pois puukappaleiden välistä ja näin irti koekappaleesta. Tästä johtuen puristuksen ajaksi koekappaleet tuettiin sivuiltaan käsipuristimilla eristeen liukumisen estämiseksi.



Kuva 3. Koekappaleaihioita hydraulisessa puristimessa (Lind 2015-03-18).

Noin vuorokauden kuluttua puristuksesta koekappaleet höylättiin ja sirkkelöitiin oikeankokoisiksi testejä varten. Vetolujuustesteihin koekappaleet oli yksinkertainen tehdä, mutta leikkauslujuustestejä varten koekappaleita piti työstää huomattavasti enemmän, jotta rasitus testeissä saatiin kohdistettua oikealla tavalla. Ensimmäisissä leikkauslujuustestien koekappaleissa rasitus ei ollut pystysuunnassa samassa linjassa koekappaleen ala- ja yläpäässä, kuten standardin mukaan piti olla. Tämän seurauksena seuraaviin koekappaleisiin ruuvattiin puupalikat, joiden avulla rasitus saatiin pystysuunnassa oikeanlaiseksi.

Sekä veto- että leikkauslujuustestien koekappaleisiin jätettiin eristeen molemmiin puoliin puukappaleet. Testistandardit oli tarkoitettu itse eristeen testaamiseen ja niissä eriste on liimattu suoraan koestuslaitteen metallisten asetteiden pintoihin. Rakenteen kestävyys kannalta olennaista oli kuitenkin saada tietää liimasauman pitävyys myös puun ja eristeen välillä, ei pelkästään itse eristeen lujuus. Tästä syystä standardien mukaiset metallikappaleet on koekappaleissa korvattu puisilla osilla.

Kaikissa vetolujuustestien koekappaleissa kuormituksen ala oli 23 mm x 50 mm. Leikkauslujuustesteissä koekappaleiden kuormitusalan leveys oli 23 - 24 mm. Kuormitusalan pituus vaihtelee 246 - 258 mm välillä. Koekappaleiden kuormitusala oli kuitenkin sama jokaisen koestussarjan sisällä. Erot kuormitusaloissa johtuvat mittausvirheistä koekappaleiden rakentamisessa. Koekappaleisiin kohdistettu voima jaetaan kuitenkin aina pinta-alalla, jolloin kuormitusalan pienillä heitoilla ei pitäisi olla merkitystä lopputulokseen. Jokaista koestussarjaa kohden koekappaleita tehtiin viisi kappaletta.

3.2 Käytetyt materiaalit

Koekappaleet tehtiin kahdesta syystä: veto- ja leikkauslujuustestien vuoksi sekä liimaamisen testaamiseksi. Rakenteen liimausta testattiin, jotta saadaan tietoa erilaisista liimausmenetelmistä sekä liimoista ja niiden soveltuvuudesta kyseisen rakenteen liimaamiseen. Liimaamisen testaamiseen valittiin 1- ja 2-komponenttisia kosteuskovettuvia polyuretaaniliimoja sekä 1-komponenttista PVAc-liimaa.

Eristeenä rakenteessa käytetään xps-eristettä, joka soveltuu sen tiheyden vuoksi hyvin rakenteeseen. Pehmeillä villoilla rakenne ei pysyisi kasassa. Xps-eriste on suulakepuristettua polystyreeniä ja sitä käytetään tavallisesti lähinnä routaeristeenä rakentamisessa. Erona eps-eristeeseen on valmistustapa. Xps (extruded polystyrene) on tehty suulakepuristamalla, kun taas eps (expanded polystyrene) on tehty paisuttamalla. Valmistumenetelmän ansiosta esimerkiksi tavanomaisella Finnfoam FI-300 –eristeellä tiheys on 32 kg/m^3 , kun taas EPS Lattia 100 –eristeellä tiheys jää 18 kg/m^3 . Sekä eps että xps on tehty polystyreenistä. Lämmönjohtavuudeltaan xps on hieman parempaa eps:ään verrattuna. Lämmönjohtavuuden ilmoitettu arvo xps-eristeellä on noin $0,035 \text{ W/mK}$ ja eps-eristeellä noin $0,036 \text{ W/mK}$. (eps-eriste.fi; finnfoam.fi)

Koekappaleiden rakentamiseen tarvittu puumateriaalin toimitti Sepa Oy. Kaikissa koekappaleissa puutavara oli vähintään C24 luokan kuusta. Puutavaran kosteutta mitattiin piikkimittarilla. Puutavara oli kosteudeltaan 12-14 %.

Koekappaleissa käytetyt materiaaliyhdistelmät sekä koekappaleiden tunnuks:

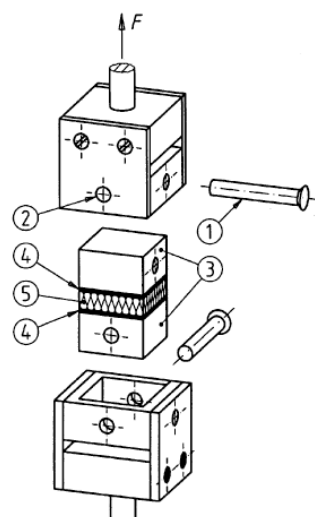
- L1/V1 Liima: Kiilto Polyuretan D4, Eriste: XPS tuntematon
- L2/V2 Liima: Kiilto SLIM, Eriste: XPS tuntematon
- L3/V3 Liima: Kiilto Kestokol D4000, Eriste: Isover Styrofoam 300 PL-A-N
- L4/V4 Liima: Kiilto Kestopur 1030, Eriste: Isover Styrofoam 300 PL-A-N
- L5/V5 Liima: Kiilto Polyuretan D4, Eriste: M-Plast eM-Foam 300
- L6/V6 Liima: Kiilto Polyuretan D4, Eriste: Finnfoam FI-300
- L7/V7 Liima: Kiilto Kestopur 1030, Eriste: M-Plast eM-Foam 300.

4 KOEKAPPALEIDEN TESTAAMINEN

4.1 Testausmenetelmät EN 1607 ja EN 12090

4.1.1 EN 1607 Lämmöneristetuotteet rakentamiskäyttöön. Vetolujuuden määrittäminen kohtisuoraan pintoja vastaan. 1997-02-10.

Rakennettuja koekappaleita testattiin Savonia-ammattikorkeakoulun puulaboratoriossa. Koekappaleille tehtiin vetolujuustesti sovelletusti euronormin EN 1607 mukaan. Siinä mitattiin koekappaleiden kohtisuoraan pintoja vastaan kohdistettu vetolujuus. Koekappale kiinnitettiin kahden jäykän levyn tai laatan väliin ja vedettiin standardissa annetulla nopeudella erilleen. Tämän seurauksena koekappaleessa olevassa eristekerroksessa oli tarkoitus saada vetomurtuminen aikaan. Testikappaleita tehtiin viisi kappaletta kun testissä noudatettiin tuotestandardia SFS-EN 13164 "Lämmöneristetuotteet rakentamiseen. Tehdasvalmisteiset suulakepuristetut polystyreenituotteet (XPS)."



- 1 pultti
- 2 yhdistävä akseli
- 3 metalli laatat
- 4 liima-aine
- 5 koekappale

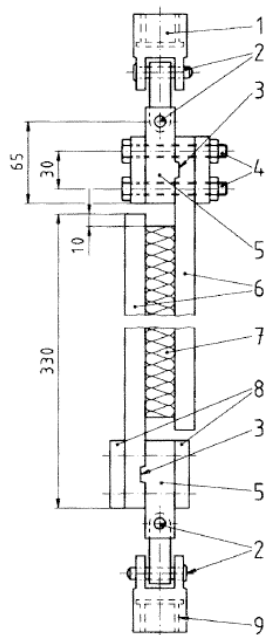


Kuva 4. Vasemmalla standardin EN 1607 mukainen vetokoejärjestely (EN 1607)

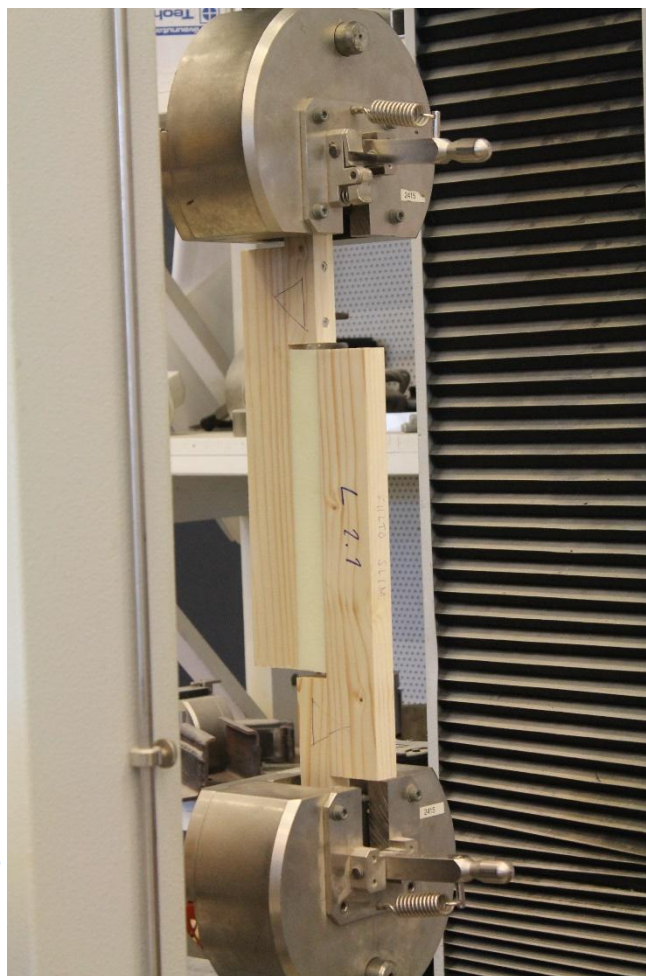
Kuva 5. Oikealla toteutunut vetokoejärjestely (Lind 2015-03-19)

4.1.2 EN 12090 Lämmöneristetuotteet rakentamiskäyttöön. Leikkauslujuusominaisuuksien määrittäminen. 1997-09-22.

Leikkauslujuustesti koekappaleille tehtiin sovelletusti euronormin EN 12090 mukaan. Testissä koekappaleeseen kohdistettiin leikkausrasitus siihen kiinnitettyjen jäykkien levyjen välityksellä. Kuten edellisessäkin testissä, tässä noudatettiin standardia SFS-EN 13164 "Lämmöneristetuotteet rakentamiseen. Tehdasvalmisteiset suulakepuristetut polystyreenituotteet (XPS)". Testikappaleita tehtiin vähintään viisi kappaletta jokaista testitulosta kohti.



- 1 Laitteen kiinteä kahva
- 2 Yleisliitos, kiinnitystappi
- 3 Ohjauslista ja ura
- 4 Mutteri- ja pulttikiinnitykset
- 5 Sovite
- 6 Koekappaleen tukilevyt (pituus 330 mm, leveys 50 mm, paksuus 16 mm)
- 7 Koekappale (pituus 250 mm, leveys 50 mm)
- 8 Kuormitusta jakavat levyt
- 9 Laitteen liikkuva koneen kahva



Kuva 6. Vasemmalla standardin EN 12090 mukainen koejärjestely (EN 12090)

Kuva 7. Oikealla toteutunut leikkauskoejärjestely (Lind 2015-03-17)

4.2 Testilaitte TIRAtest 28100

Molemmat testit tehtiin samalla laitteella samojen sovitteiden avulla. Laitteen kuormitusnopeus säädettiin kyseessä olevan testistandardin mukaiseksi. Molemmissa testeissä koelaitteen asete ja koekappaleen kiinnitys poikkesivat kuvissa 4 ja 6 esitetystä euronormin mukaisista koejärjestelyistä. Periaatteeltaan testit olivat kuitenkin euronormien mukaisia. Myös euronormeissa asetetut kuormitusalat poikkeavat käytetyistä johtuen erikokoisista koekappaleista. Suurin rajoittava tekijä koekappaleiden mittojen kannalta oli testilaitteen sovitteet eli kuvissa 5 ja 7 näkyvät ”leuat”, joihin mahtui maksimissaan 23 mm leveä kappale. Molemmissa standardeissa oli asetettu koekappaleen vähimmäisleveydeksi 50 mm. Vetolujuustestissä koekappaleen piti standardin mukaan olla suorakulmainen suositelluilla vähimmäismitoilla 50 mm x 50 mm. Käytännössä testi tehtiin kuitenkin mitoilla 50 mm x 23 mm, jolloin toinen sivumitoista saatiin minimipituiseksi. Leikkauslujuustestin koekappaleiden kiinnitys poikkesi standardin mukaisesta kiinnityksestä. Standardin mukaisesti koekappale pitäisi olla kiinnitetty kahteen suuntaan nivelöitynä. Nivelöimisestä jouduttiin kuitenkin tinkimään käytettyjen asetteiden vuoksi. Koelaitteen asetteet olivat kuitenkin keskeisesti kohtisuorassa toisiaan vastaan. Koekappaleen suoruus asetteiden välissä tarkistettiin vatupassilla ennen testausta.

5 TULOKSET

Luku sisältää luottamuksellista tietoa.

6 KUSTANNUKSET

Rakenteelle tulevia kustannuksia on tässä opinnäytetyössä arvioitu lähinnä materiaalien osalta. Tuotannollisiin kustannuksiin ei juurikaan ole otettu kantaa.

Liimapuun hinta on keskimäärin 880 €/m³. Mitallistetun puutavaran hinta on keskimäärin 450 €/m³. Tästä saadaan karkea hinta liimaukselle vähentämällä liimapuun hinnasta mitallistetun sahatavaran hinta, jolloin liimaustyön ja liiman yhteishinnaksi muodostuu noin 330 €/m³. Tästä saadaan liimauksen ja liiman hinnaksi 2,7 €/m ja tästä edelleen vähentämällä 1-komponenttisen PUR-liiman hinta saadaan liimaustyön hinnaksi 2,2 €/m. Rakennekokonaisuuden hinta muodostuu siis seuraavasti:

eriste 0,21 €/m + puutavara 3,42 €/m + liima 0,50 €/m + liimaustyö 2,2 €/m = 6,33 €/m.

Rakennetta voidaan verrata esimerkiksi dimensioiltaan lähes samaan mitallistettuun puutavaraan 48 mm x 198 mm, jonka hinta vaihtelee 3,11 - 4,24 €/m. Tällä tavalla tarkasteltuna tutkitun tuotteen hinta on jopa kaksinkertainen vastaavan kokoiseen puutavaraan verrattuna, mikä vähentänee tuotteen kysyntää. Toisaalta puutavaran sekä liimaustyön hintaa saataneen pudotettua arvioidusta valmistamalla tuotetta suuria eriä kerralla.

Rakenteen materiaalikustannuksiin vaikuttavat pitkälti käytettävä xps-eriste ja liima, sillä molempia tuotteita löytyy useilta eri valmistajilta erihintaisina. Materiaalien hintoja löytyy useista eri verkko-rautakaupoista. Xps-eristeiden hinnat vaihtelevat keskimäärin 0,20 €/m - 0,26 €/m välillä. 1-komponenttisten PUR-liimojen hinta on tutkitulle rakenteelle laskettuna keskimäärin 0,50 €/m. Liimojen ja eristeiden hintaa saataneen pienemmäksi esimerkiksi tilaamalla materiaaleja suuremmissa erissä suoraan valmistajalta. Materiaalien valintaan vaikuttaa tietenkin niiden soveltuvuus rakenteeseen. Kuten testeissä kävi ilmi, kaikki materiaalit eivät välttämättä sovellu kyseiseen rakenteeseen rakenteellisen heikkoutensa tai huonon kiinnittymisen vuoksi.

7 RAKENNELASKELMAT

7.1 Runkotolpan rakenteellinen kestävyys

Opinnäytetyössä tutkitun rakenteen runkotolpalle tehtiin rakennelaskelmat Puuinfon julkaiseman laskelmien perusteella (EC5 Sovelluslaskelmat – asuinrakennus). Laskelmissa esimerkkikohteena käytettiin 10 m x 15 m kokoista puurunkoista omakotitaloa, joka vastaa pitkälti keskimääräistä omakotitalon kokoa Suomessa. Runkotolpan dimensiona käytettiin 42 mm x 123 mm, joka on mitallistettua sahatavaraa. Valitun dimension perusteena on normaalia kapeamman leveyden tuomat taloudelliset säästöt. Toisaalta runkotolpalla on oltava riittävä syvyys kuormien vastaanottamiseksi ja riittävän eristepaksuuden saavuttamiseksi seinässä. Kokonaisuudessaan rakenteen syvyys ei poikkea juurikaan normaalista 198 mm syvästä runkotolpasta, kun rakenteen kokonaispaksuus on 123 mm + 30 mm + 42 mm = 195 mm. Pituutena runkotolpalle käytettiin laskelmissa 2700 mm, joka on halutun tuotteen aikaansaamiseksi taloudellinen mitta pienen hukan vuoksi. Rakenteellinen kestävyys laskettiin noudattaen esimerkkiä 5: ”Ulkoseinän runkotolppa”. Laskelmissa on laskettu runkotolpan kestävyys sekä osana normaalia seinärakennetta että sen ollessa ikkunan pielessä, jolloin se joutuu ottamaan vastaan enemmän kuormia. (stat.fi.)

7.2 Rakenteen eristekaistan kestävyys

Rakennekokonaisuuden eristekaistan lujuutta tutkittiin laboratoriotesteissä veto- ja leikkauslujuustestein. Eristekaistan kannateltavaksi tulevat käytännössä kaikki seinälle kiinnitettävät kalusteet kuten naulakot, keittiökaapit ja seinäkellot. Rakennelaskelmissa on arvioitu keittiön yläkaappien muodostavan pahimman kuorman eristeelle ja sen perusteella verrattu testeissä saatuja vetolujuuksia laskennallisiin rasituksiin. Seinälle ripustettavien kuormien on ajateltu muodostavan momenttia rakenteeseen ja tämän seurauksena rakenteen yläpää tulisi vedetyksi sisäänpäin. Mikäli eristekaista tai liimaus pettävät rakenteessa, on vaarana seinän sisäverhouksien kaatuminen sisätilaan päin. Mahdollinen leikkautuminen eristeen kohdalla pystysuunnassa pitäisi olla eliminoituna, kun pystyssä oleva sisäkoolauspuidu tukeutuu alapäästään seinän alajuoksuun.

7.3 Liittyminen muihin rakenneseisiin

Rakenteen liittyminen ylä- ja alapohjaan on suunniteltu toteutettavaksi liitteissä olevien detaljien mukaan. Rakenteen liittymisessä yläpohjaan on huomioitava, ettei pystykuormia saa siirtää yläohjauspuun kautta sisäkoolauspuiduun tai xps-eristeelle, ainoastaan rakenteen kantavaan osaan eli runkotolppaan. Liittyminen seinän alaohjauspuuhun toteutetaan samalla tavalla kuin normaalillakin runkotolpalla.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Luku sisältää luottamuksellista tietoa.

LÄHTEET

Eps-eriste.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-04-15.] Saatavissa: <http://www.eps-eriste.fi/> Polku: Eps-eriste.fi. Mitä eps on?.

Finnfoam.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-04-15.] Saatavissa: <http://www.finnfoam.fi/> Polku: Finnfoam.fi. Finnfoam. Koostumus ja rakenne.

LUKANDER, Minna. 2010-11-18. Pientalojen rakenteet 1940-1970. Rakennusperinto.fi. [Viitattu 2015-04-21.] Saatavissa: http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/Korjaus_artikkelit/fi_FI/Pientalojen_rakenteet_1940-1970/

LÄMMÖNERISTETUOTTEET RAKENTAMISEEN. TEHDASVALMISTEISET SUULAKEPURISTETUT POLYSTYREENITUOTTEET (XPS). TUOTESTANDARDI. SFS-EN 13164. Vahvistettu 2013-03-04. Rakennustuoteteollisuus RTT ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

LÄMMÖNERISTETUOTTEET RAKENTAMISKÄYTTÖÖN. LEIKKAUSLUJUUSOMINAISUUKSIEN MÄÄRITYS. SFS-EN 12090. Vahvistettu 1997-09-22. Rakennustuoteteollisuus ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

LÄMMÖNERISTETUOTTEET RAKENTAMISKÄYTTÖÖN. VETOLUJUUDEN MÄÄRITYS KOHTISUORAAN PINTOJA VASTAAN. SFS-EN 1607. Vahvistettu 1997-02-10. Rakennustuoteteollisuus ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Puuinfo.fi. EC5 Sovelluslaskelmat – asuinrakennus [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-02-26.] Saatavissa: <http://puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodit-ja-standardit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus0.pdf>

Puuinfo.fi. Hyvä tietää puusta – perustietoa puusta [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-04-21.] Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Hyv%C3%A4%20tiet%C3%A4%20puusta%20WEB.pdf>

Sepa.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-04-01.] Saatavissa: <http://sepa.fi/> Polku: Sepa.fi. Yritys.

Suomirakentaa.fi [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-04-21.] Saatavissa: <http://www.suomirakentaa.fi/> Polku: Suomirakentaa.fi. Omakotirakentaja. Ulkoseinät ja julkisivut. Runkoratkaisun valinta.

Taloon.com [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-03-26.] Saatavissa: <http://www.taloon.com/> Polku: Taloon.com. Rakentaminen. Puutavara, rakennuslevy. Liimapuu. Liimapuut tehtaalta.

TIIHONEN, Arja. 2011-10-18. Asumisväljyys lisääntyy hitaasti. Tilastokeskus. [Viitattu 2015-03-13.] Saatavissa: http://www.stat.fi/tup/vl2010/art_2011-10-18_001.html

Kuvaluettelo:

Kuva 1. LIND, Aappo 2015-04-20. Lämpötekniinen runkotolppa ulkoseinässä [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Kuva 2. LIND, Aappo 2015-03-18. Maalaustela oli kätevä liimanlevitysväline [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Kuva 3. LIND, Aappo 2015-03-18. Koekappaleaihioita hydraulisessa puristimessa [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Kuva 4. LÄMMÖNERISTETUOTTEET RAKENTAMISKÄYTTÖÖN. VETOLUJUUDEN MÄÄRITYS KOHTI-SUORAAN PINTOJA VASTAAN. SFS-EN 1607. Rakennustuoteteollisuus ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Kuva 5. LIND, Aappo 2015-03-19. Oikealla toteutunut vetokoejärjestely [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

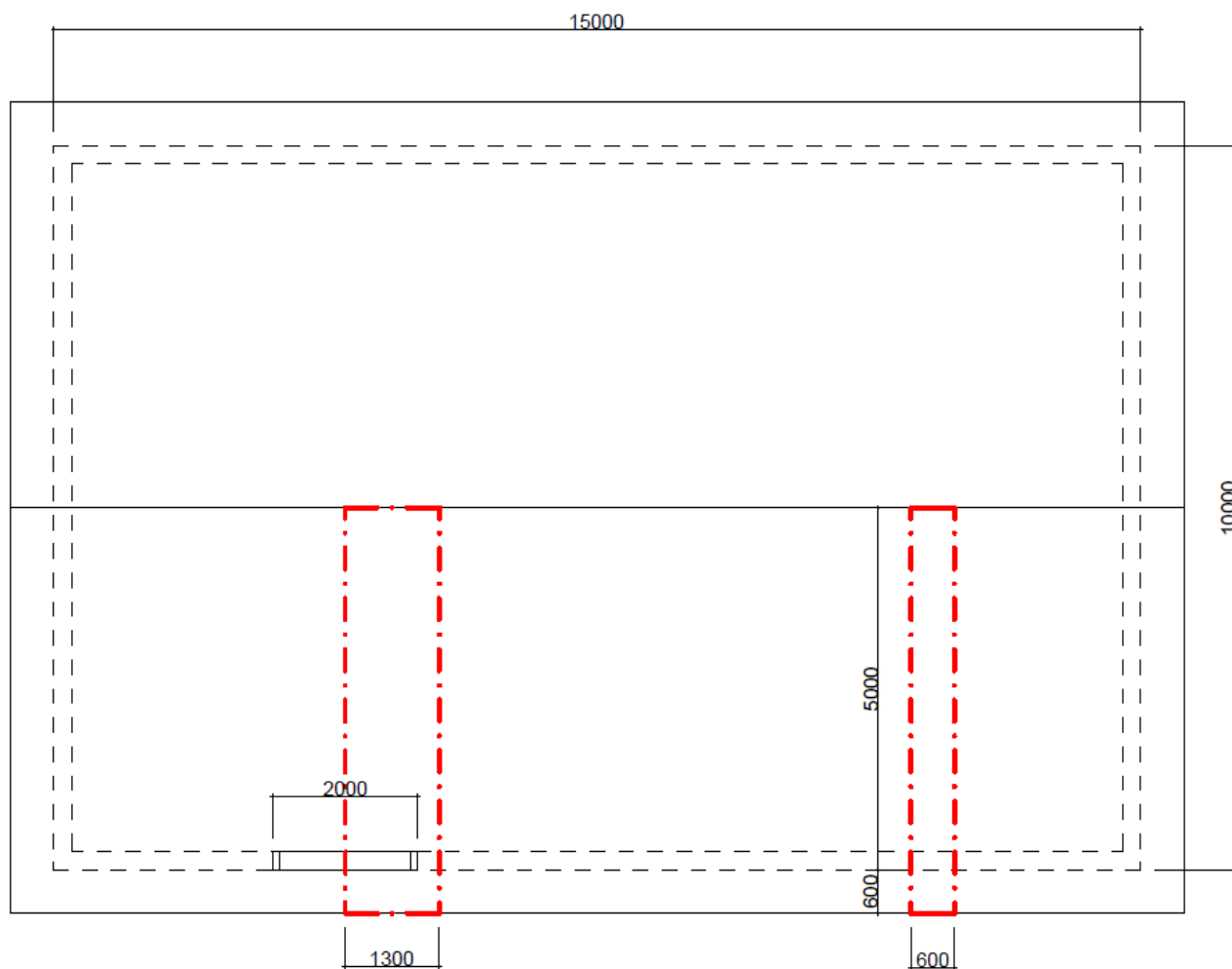
Kuva 6. LÄMMÖNERISTETUOTTEET RAKENTAMISKÄYTTÖÖN. LEIKKAUSLUJUUSOMINAISUUKSIEN MÄÄRITYS. SFS-EN 12090. Rakennustuoteteollisuus ry. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Kuva 7. LIND, Aappo 2015-03-17. Oikealla toteutunut leikkauskoejärjestely [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Kuva 8. LIND, Aappo 2015-03-19. Vetotestin jälkeisiä koekappaleita sarjasta V5 [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

Kuva 9. LIND, Aappo 2015-03-19. Leikkausjälkien näkyminen koekappaleissa [digikuva]. Sijainti: Kuopio: Tekijän sähköiset kokoelmat.

LIITE 1 RAKENNELASKELMAT



Mitoitettavan rakennuksen kuormitusalat.

Perustietoja

- Ulkoseinän runkotolppa on tuettu nurjahdusta vastaan heikommassa suunnassa levytyksellä
- Runkotolppa oletetaan päistään nivelellisesti tuetuksi
- Runkotolpan mitoituksessa käytettävää tuulenpainetta huomioitaessa käytetään paikallisia tuulenpaineen nettopaine kertoimia
- Pystykuormien oletetaan tulevan keskeisesti runkotolpalle, joten epäkeskisyyttä ei ole

Kuormitus

Ominaiskuormat, g_k :

$$\text{Yläpohja} \quad 0,5 \text{ kN/m}^2 * 5 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 1,5 \text{ kN}$$

$$\text{Räystäs} \quad 0,2 \text{ kN/m}^2 * 0,6 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 0,1 \text{ kN}$$

$$\text{Seinät} \quad 0,4 \text{ kN/m}^2 * 3 \text{ m} * 0,6 \text{ m} = 0,7 \text{ kN}$$

$$\text{Yhteensä} \quad g_k = 2,3 \text{ kN}$$

Hyötykuormat, q_k :

$$\text{Lumikuorma} \quad 2,2 \text{ kN/m}^2 * (5 \text{ m} + 0,6 \text{ m}) * 0,9 \text{ m} = 11,1 \text{ kN}$$

$$\text{Tuulikuorma} \quad 0,60 \text{ kN/m}^2 * 0,6 \text{ m} = 0,36 \text{ kN/m}$$

Runkotolpan taivutusmomentti tuulikuormasta:

$$C_{p,net} = 1,4$$

$$M_{w,k} = \frac{(1,4 * 0,36 \text{ kN/m}) * 2,7^2 \text{ m}}{8} = 0,46 \text{ kNm}$$

Nurjahduskestävyys KY 1 (pysyvä aikaluokka)

Maksimi normaalivoima KY 1:

$$N_d = 1,35 * \text{omapaino} = 1,35 * 2,3 \text{ kN} = 3,1 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$:

$$L_{c,z} = 1,0 * 2700 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{123 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 35,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2700 \text{ mm}}{35,5 \text{ mm}} = 76$$

$$k_{c,y} = 0,47$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{b * h} = \frac{3100 \text{ N}}{42 \text{ mm} * 123 \text{ mm}} = 0,6 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus:

$$k_{mod} = 0,6 \text{ (pysyvä)}$$

$$f_{c,o,d} = \frac{f_{c,o,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0,6}{1,4} = 9,0 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} \leq 1$$

$$\frac{0,6 \text{ N/mm}^2}{0,47 \cdot 9,0 \text{ N/mm}^2} \leq 1$$

$$0,15 < 1$$

Käyttöaste 15 %

Nurjahduskestävyys KY 2 (keskipitkä aikaluokka)

Maksimi normaalivoima KY 2:

$$N_d = 1,15 \cdot \text{omapaino} + 1,5 \cdot \text{lumi} = 1,15 \cdot 2,3 \text{ kN} + 1,5 \cdot 11,1 \text{ kN} = 19,3 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$:

$$L_{c,z} = 1,0 \cdot 2700 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{123 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 35,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2700 \text{ mm}}{35,5 \text{ mm}} = 76$$

$$k_{c,y} = 0,47$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{19300 \text{ N}}{42 \text{ mm} \cdot 123 \text{ mm}} = 3,8 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus:

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (keskipitkä)}$$

$$f_{c,o,d} = \frac{f_{c,o,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 0,8}{1,4} = 12,0 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,o,d}} \leq 1$$

$$\frac{3,8 \text{ N/mm}^2}{0,47 \cdot 12,0 \text{ N/mm}^2} \leq 1$$

$$0,68 < 1$$

Käyttöaste 68 %

Nurjahduskestävyys KY 4 (hetkellinen aikaluokka)

Maksimi normaalivoima KY 4:

$$N_d = 1,15 \cdot \text{omapaino} + 1,05 \cdot \text{lumi} = 1,15 \cdot 2,3 \text{ kN} + 1,05 \cdot 11,1 \text{ kN} = 14,3 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$:

$$L_{c,z} = 1,0 * 2700 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{123 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 35,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2700 \text{ mm}}{35,5 \text{ mm}} = 76$$

$$k_{c,y} = 0,47$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{b * h} = \frac{14300 \text{ N}}{42 \text{ mm} * 123 \text{ mm}} = 2,8 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus:

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (hetkellinen)}$$

$$f_{c,o,d} = \frac{f_{c,o,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1,1}{1,4} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti:

$$M_d = 1,5 * M_{w,k} = 1,5 * 0,46 \text{ kNm} = 0,69 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * (0,69 * 10^6 \text{ Nmm})}{42 \text{ mm} * 123^2 \text{ mm}} = 6,5 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus:

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (hetkellinen)}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1,1}{1,4} = 18,8 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} \leq 1$$

$$\frac{6,5 \text{ N/mm}^2}{18,8 \text{ N/mm}^2} + \frac{2,8 \text{ N/mm}^2}{0,47 * 16,5 \text{ N/mm}^2} \leq 1$$

$$0,71 < 1$$

Käyttöaste 71 %

Nurjahduskestävyys KY 5 (hetkellinen aikaluokka)

Maksimi normaalivoima KY 5:

$$N_d = 1,15 * \text{omapaino} + 1,5 * \text{lumi} = 1,15 * 2,3 \text{ kN} + 1,5 * 11,1 \text{ kN} = 19,3 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$:

$$L_{c,z} = 1,0 * 2700 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{123 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 35,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2700 \text{ mm}}{35,5 \text{ mm}} = 76$$

$$k_{c,y} = 0,47$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{b * h} = \frac{19300 \text{ N}}{42 \text{ mm} * 123 \text{ mm}} = 3,8 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus:

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (hetkellinen)}$$

$$f_{c,o,d} = \frac{f_{c,o,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1,1}{1,4} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti:

$$M_d = 0,9 * M_{w,k} = 0,9 * 0,46 \text{ kNm} = 0,42 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * (0,42 * 10^6 \text{ Nmm})}{42 \text{ mm} * 123^2 \text{ mm}} = 4,0 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus:

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (hetkellinen)}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1,1}{1,4} = 18,8 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} \leq 1$$

$$\frac{4,0 \text{ N/mm}^2}{18,8 \text{ N/mm}^2} + \frac{3,8 \text{ N/mm}^2}{0,47 * 16,5 \text{ N/mm}^2} \leq 1$$

$$0,71 < 1$$

Käyttöaste 71 %

Tukipainekestävyys alaohjauspuussa KY 2

Maksimi normaalivoima KY 2:

$$N_d = 1,15 * \text{omapaino} + 1,5 * \text{lumi} = 1,15 * 2,3 \text{ kN} + 1,5 * 11,1 \text{ kN} = 19,3 \text{ kN}$$

Puristusjännitys alaohjauspuussa:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b * l} = \frac{19300 \text{ N}}{42 \text{ mm} * 123 \text{ mm}} = 3,8 \text{ N/mm}^2$$

Alaohjauspuun puristuslujuus syysuuntaa vastaan:

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (keskipitkä)}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{90,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0,8}{1,4} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

$K_{c,90}$ -kerroin:

$$L_1 \geq 2h$$

$$K_{c,90} = 1,25 \text{ (sahatavara)}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus:

$$L_{c,90,ef} = 30 \text{ mm} + L + 30 \text{ mm} = 30 \text{ mm} + 42 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 102 \text{ mm}$$

Tukipaine kerroin:

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} * K_{c,90} = \frac{102 \text{ mm}}{42 \text{ mm}} * 1,25 = 3,0$$

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} * f_{90,d}$$

$$3,8 \text{ N/mm}^2 \leq 3,0 * 1,43 \text{ N/mm}^2$$

$$3,8 \text{ N/mm}^2 < 4,3 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 88 %

Taipuma KY 4 (hetkellinen aikaluokka)

Palkin jäyhyysmomentti:

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{42 \text{ mm} * 123^3 \text{ mm}}{12} = 6,51 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$w_{inst} = \frac{5 * \left(k * c_{p,net} * q_k(h) \right) * L^4}{384 * E_{0,mean} * I_y} = \frac{5 * \left(0,6 \text{ m} * 1,4 * 0,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * 2700^4 \text{ mm}}{384 * 11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 6,51 * 10^6 \text{ mm}^4} = 4,83 \text{ mm}$$

Lopputaipuma:

$$k_{\text{def}} = 0,6$$

$$w_{\text{fin}} = (1 + k_{\text{def}}) * w_{\text{inst}} = 1,6 * 4,83 \text{ mm} = 7,73 \text{ mm}$$

Mitoitusehto:

$$\text{Taipumaraja } w_{\text{fin}} \leq \frac{L}{300}$$

$$7,73 \text{ mm} \leq \frac{2700 \text{ mm}}{300}$$

$$7,73 \text{ mm} < 9 \text{ mm}$$

Käyttöaste 86 %

IKKUNANPIELITOLPPA

- Ikkunanpielessä käytetään kahta runkotolppaa rinnakkain
- Ikkunan leveytenä käytetään 2000 mm

Kuormitus

Ominaiskuormat, g_k :

$$\text{Yläpohja} \quad 0,5 \text{ kN/m}^2 * 5 \text{ m} * 1,3 \text{ m} = 3,3 \text{ kN}$$

$$\text{Räystäs} \quad 0,2 \text{ kN/m}^2 * 0,6 \text{ m} * 1,3 \text{ m} = 0,2 \text{ kN}$$

$$\text{Seinät} \quad 0,4 \text{ kN/m}^2 * 3 \text{ m} * 1,3 \text{ m} = 1,6 \text{ kN}$$

$$\text{Yhteensä} \quad g_k = 5,1 \text{ kN}$$

Hyötykuormat, q_k :

$$\text{Lumikuorma} \quad 2,2 \text{ kN/m}^2 * (5 \text{ m} + 0,6 \text{ m}) * 1,3 \text{ m} = 16,1 \text{ kN}$$

$$\text{Tuulikuorma} \quad 0,6 \text{ kN/m}^2 * 1,3 \text{ m} = 0,8 \text{ kN/m}$$

Runkotolpan taivutusmomentti tuulikuormasta:

$$C_{p,\text{net}} = 1,4$$

$$M_{w,k} = \frac{(1,4 * 0,8 \text{ kN/m}) * 2,7^2 \text{ m}}{8} = 1,0 \text{ kNm}$$

Nurjahduskestävyys KY 4 (hetkellinen aikaluokka)

Maksimi normaalivoima KY 4:

$$\begin{aligned} N_d &= 1,15 * \text{omapaino} + 1,05 * \text{lumi} = 1,15 * 5,1 \text{ kN} + 1,05 * 16,1 \text{ kN} \\ &= 22,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$:

$$L_{c,z} = 1,0 * 2700 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{123 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 35,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2700 \text{ mm}}{35,5 \text{ mm}} = 76$$

$$k_{c,y} = 0,47$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{b * h} = \frac{22300 \text{ N}}{84 \text{ mm} * 123 \text{ mm}} = 2,2 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus:

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (hetkellinen)}$$

$$f_{c,o,d} = \frac{f_{c,o,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1,1}{1,4} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti:

$$M_d = 1,5 * M_{w,k} = 1,5 * 1,0 \text{ kNm} = 1,5 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * (1,5 * 10^6 \text{ Nmm})}{84 \text{ mm} * 123^2 \text{ mm}} = 7,1 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus:

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (hetkellinen)}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1,1}{1,4} = 18,8 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} \leq 1$$

$$\frac{7,1 \text{ N/mm}^2}{18,8 \text{ N/mm}^2} + \frac{2,2 \text{ N/mm}^2}{0,47 * 16,5 \text{ N/mm}^2} \leq 1$$

$$0,66 < 1$$

Käyttöaste 66 %

Nurjahduskestävyys KY 5 (hetkellinen aikaluokka)

Maksimi normaalivoima KY 5:

$$N_d = 1,15 * \text{omapaino} + 1,5 * \text{lumi} = 1,15 * 5,1 \text{ kN} + 1,5 * 16,1 \text{ kN} \\ = 30,0 \text{ kN}$$

Nurjahduskerroin $k_{c,y}$:

$$L_{c,z} = 1,0 * 2700 \text{ mm} = 2700 \text{ mm}$$

$$i_y = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{123 \text{ mm}}{\sqrt{12}} = 35,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{c,z}}{i_y} = \frac{2700 \text{ mm}}{35,5 \text{ mm}} = 76$$

$$k_{c,y} = 0,47$$

Puristusjännitys:

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_d}{b * h} = \frac{30000 \text{ N}}{84 \text{ mm} * 123 \text{ mm}} = 2,9 \text{ N/mm}^2$$

Puristuslujuus:

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (hetkellinen)}$$

$$f_{c,o,d} = \frac{f_{c,o,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{21 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1,1}{1,4} = 16,5 \text{ N/mm}^2$$

Maksimi taivutusmomentti:

$$M_d = 0,9 * M_{w,k} = 0,9 * 1,0 \text{ kNm} = 0,9 \text{ kNm}$$

Taivutusjännitys:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{6 * M_d}{b * h^2} = \frac{6 * (0,9 * 10^6 \text{ Nmm})}{84 \text{ mm} * 123^2 \text{ mm}} = 4,3 \text{ N/mm}^2$$

Taivutuslujuus:

$$k_{mod} = 1,1 \text{ (hetkellinen)}$$

$$f_{m,y,d} = \frac{f_{m,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{24 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 1,1}{1,4} = 18,8 \text{ N/mm}^2$$

Mitoitusehto:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,o,d}}{k_{c,y} * f_{c,o,d}} \leq 1$$

$$\frac{4,3 \text{ N/mm}^2}{18,8 \text{ N/mm}^2} + \frac{2,9 \text{ N/mm}^2}{0,47 * 16,5 \text{ N/mm}^2} \leq 1$$

$$0,61 < 1$$

Käyttöaste 61 %

Tukipainekestävyys alaohjauspuussa KY 2

Maksimi normaalivoima KY 2:

$$N_d = 1,15 * \text{omapaino} + 1,5 * \text{lumi} = 1,15 * 5,1 \text{ kN} + 1,5 * 16,1 \text{ kN} = 30,0 \text{ kN}$$

Puristusjännitys alaohjauspuussa:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{A_d}{b * l} = \frac{30000 \text{ N}}{84 \text{ mm} * 123 \text{ mm}} = 2,9 \text{ N/mm}^2$$

Alaohjauspuun puristuslujuus syysuuntaa vastaan:

$$k_{mod} = 0,8 \text{ (keskipitkä)}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{f_{c,90,k} * k_{mod}}{\gamma_M} = \frac{2,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0,8}{1,4} = 1,43 \text{ N/mm}^2$$

$K_{c,90}$ -kerroin:

$$L_1 \geq 2h$$

$$k_{c,90} = 1,25 \text{ (sahatavara)}$$

Tehollinen kosketuspinnan pituus:

$$L_{c,90,ef} = 30 \text{ mm} + L + 30 \text{ mm} = 30 \text{ mm} + 84 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 144 \text{ mm}$$

Tukipainekerroin:

$$k_{c,\perp} = \frac{l_{c,90,ef}}{l} * k_{c,90} = \frac{144 \text{ mm}}{84 \text{ mm}} * 1,25 = 2,1$$

Mitoitusehto:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,\perp} * f_{c,90,d}$$

$$2,9 \text{ N/mm}^2 \leq 2,1 * 1,43 \text{ N/mm}^2$$

$$2,9 \text{ N/mm}^2 < 3,0 \text{ N/mm}^2$$

Käyttöaste 97 %

Taipuma KY 4 (hetkellinen aikaluokka, kaksi tolppaa vierekkäin)

Palkin jäyhyysmomentti:

$$I_y = \frac{b * h^3}{12} = \frac{84 \text{ mm} * 123^3 \text{ mm}}{12} = 13,03 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Hetkellinen taipuma tuulikuormasta:

$$w_{inst} = \frac{5 * \left(k * c_{p,net} * q_k(h) \right) * L^4}{384 * E_{0,mean} * I_y} = \frac{5 * \left(1,3 \text{ m} * 1,4 * 0,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) * 2700^4 \text{ mm}}{384 * 11 \frac{100 \text{ N}}{\text{mm}^2} * 13,03 * 10^6 \text{ mm}^4} = 5,22 \text{ mm}$$

Lopputaipuma:

$$k_{def} = 0,6$$

$$w_{fin} = (1 + k_{def}) * w_{inst} = 1,6 * 5,22 \text{ mm} = 8,35 \text{ mm}$$

Mitoitusehto:

$$\text{Taipumaraja } w_{\text{fin}} \leq \frac{L}{300}$$

$$8,35 \text{ mm} \leq \frac{2700 \text{ mm}}{300}$$

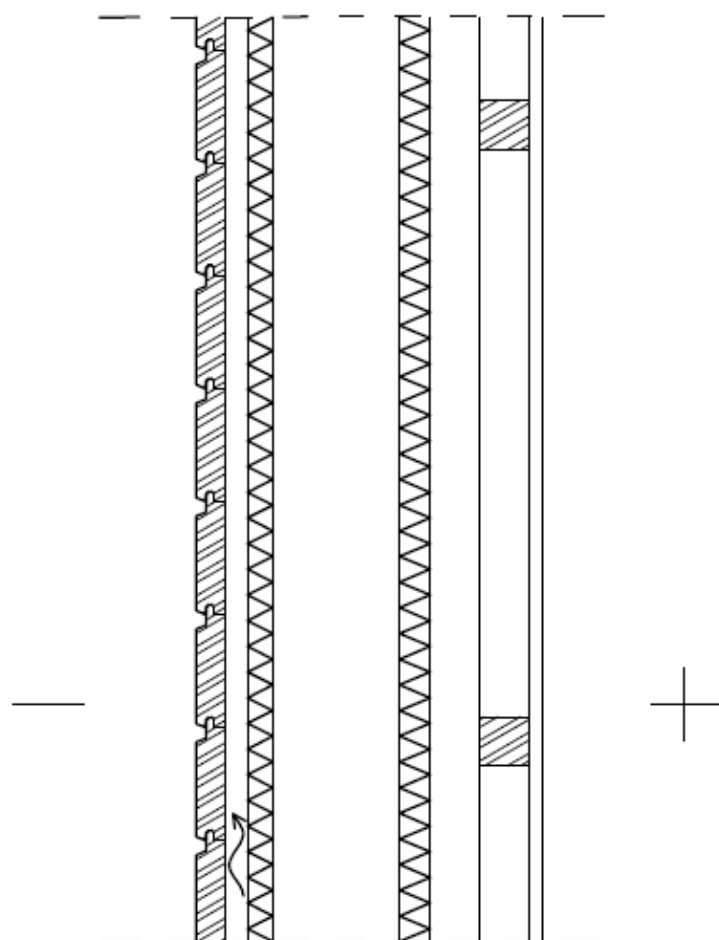
$$8,35 \text{ mm} < 9 \text{ mm}$$

Käyttöaste 93 %

ERISTEKAISTAN VETOKESTÄVYYS

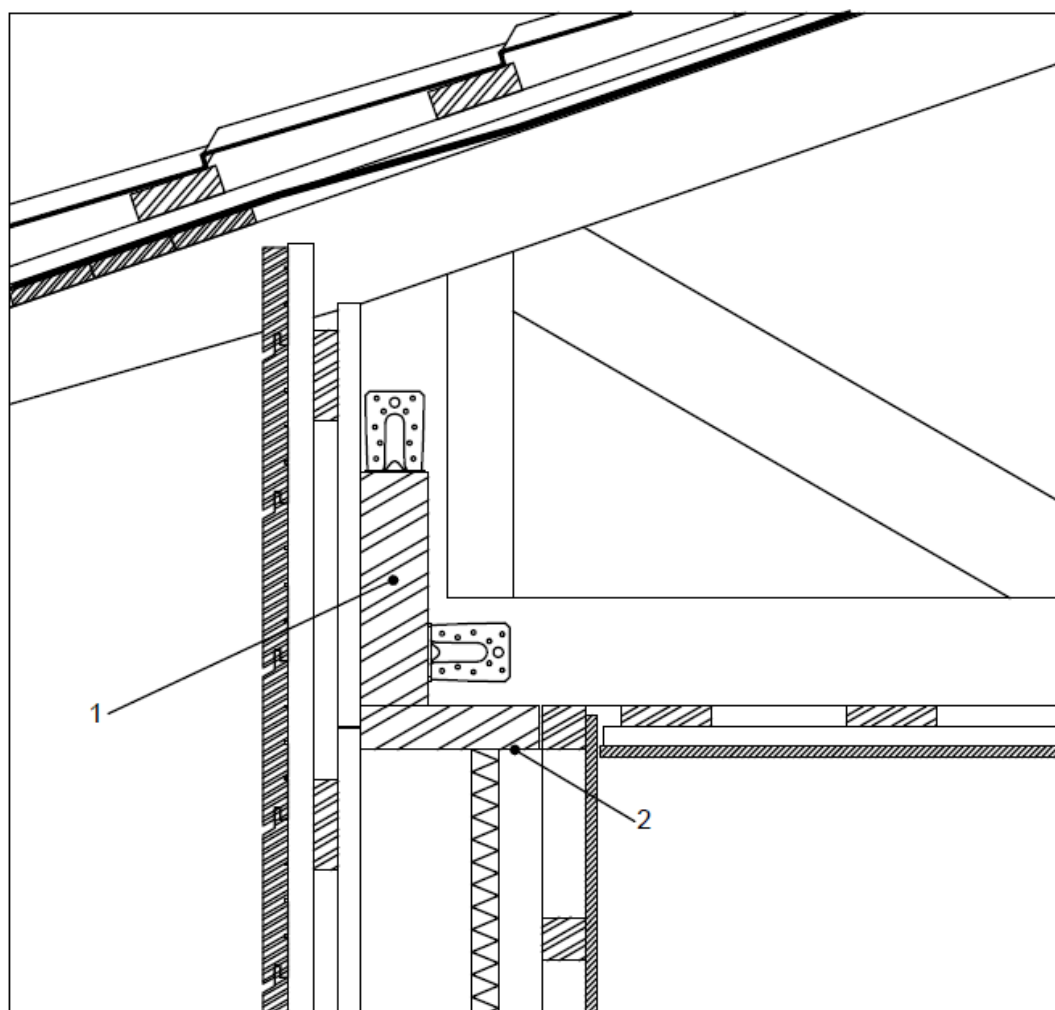
Sisältää luottamuksellista tietoa.

LIITE 2 DETALJIT



Ulkooverhous

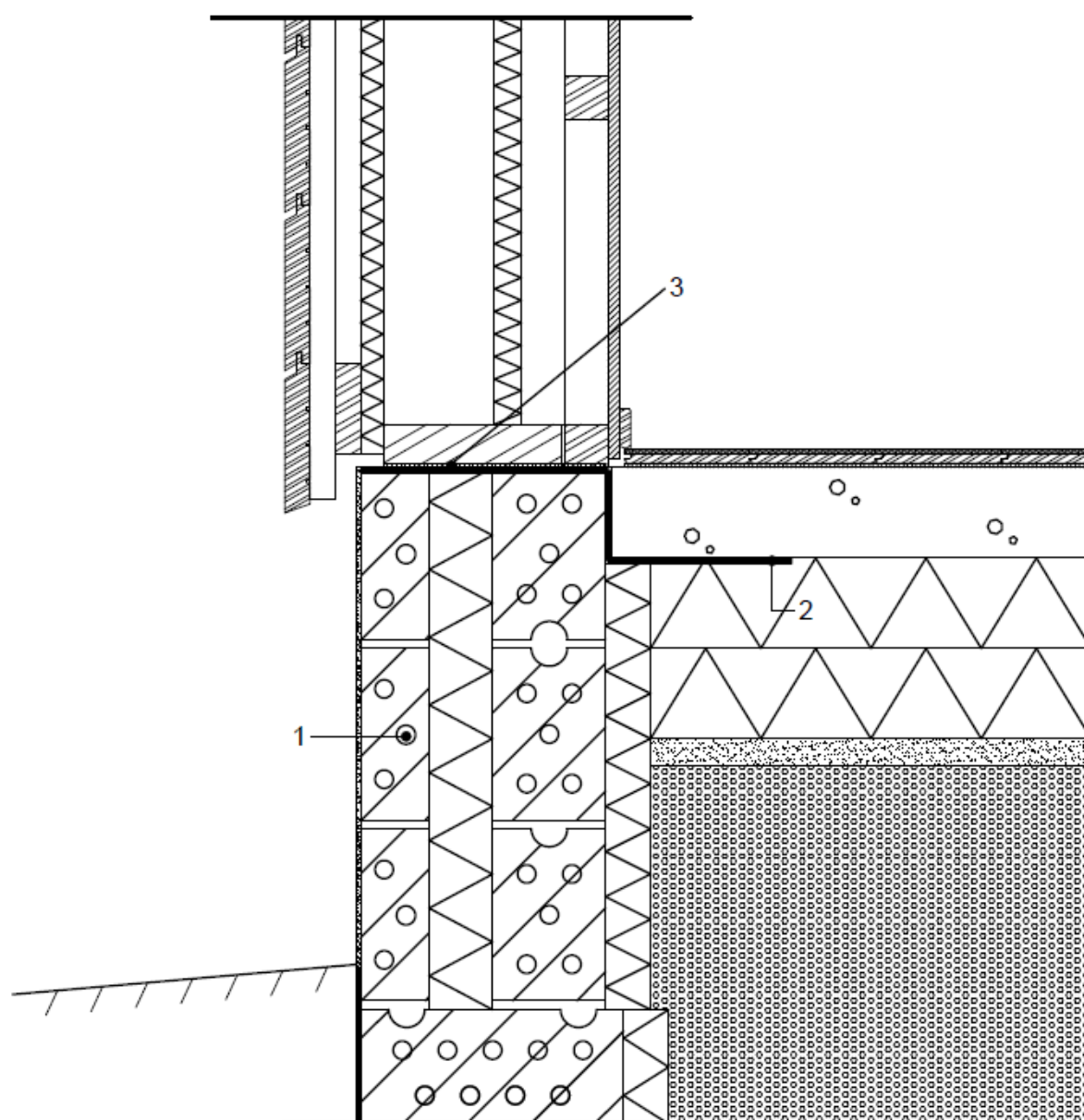
22 mm	Koolaus 22x100 k600, tuuletusrako
25 mm	Tuulensuojalevy
123 mm	Kantava runko 42x123 k600
30 mm	XPS –eristekaista
42 mm	Pystykoolaus 42x42 k600
13 mm	Kipsilevy
	Pintakäsittely huoneselityksen mukaan

**NRO MITTA / TYYPPI**

- 1 RAK mukaan
- 2 RAK mukaan

RAKENNEOSA

Yläpohjan kannatuspalkki (kolo NR-ristikossa)
 Yläjuoksussa lovi, jottei pystykuormat siirry pystykoolaukselle ja xps-eristeelle



NRO MITTA / TYYPPI

- 1 RAK mukaan
- 2 RAK mukaan
- 3 RAK mukaan

RAKENNEOSA

Raudoitettu harkkoperusmuuri tai betoniperusmuuri
 Kumibitumikermi
 Polyuretaanivaaho tai solumuovi alaohjauspuun alla

LIITE 3 KOESTUSTULOKSET

Liite sisältää luottamuksellista tietoa.